

# “三软”煤层开采沉陷 规律及其应用

郭文兵 杨治国 詹 鸣 著



科学出版社

国家自然科学基金(煤炭联合基金)重点资助项目(项目编号:U1261206)  
河南省创新型科技人才队伍建设工程  
河南理工大学创新型科研团队支持计划资助(项目编号:T2013-1)

# “三软”煤层开采沉陷 规律及其应用

郭文兵 杨治国 詹 鸣 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书针对郑州矿区“三软”煤层的地质采矿条件,研究了岩层与地表移动规律及其在“三下”采煤中的应用。本书在分析、整理矿区地表移动观测资料的基础上,研究给出了郑州矿区“三软”煤层开采条件下岩层与地表移动规律及其参数;在此基础上,对“三软”煤层条件下村庄建筑物下条带开采技术、水库坝体下采煤及保护技术、路桥下采煤及保护技术、高压线铁塔下采煤及保护技术等特殊条件下采煤技术进行了研究。同时,本书还建立了较为系统、规范的“三软”煤层地表移动参数和建(构)筑物下采煤技术体系,为我国“三软”煤层矿区建筑物保护煤柱留设、地表移动变形计算、采动影响评价以及“三下”采煤提供了科学依据。

本书可供从事“三下”采煤、开采沉陷与保护研究的科研人员及煤矿企业的工程技术人员阅读参考,也可作为采矿工程、测绘工程、安全工程等专业的本科生、研究生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

“三软”煤层开采沉陷规律及其应用/郭文兵,杨治国,詹鸣著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-037255-0

I. ①三… II. ①郭… ②杨… ③詹… III. ①三软煤层-煤矿开采-地面沉降-研究 IV. ①TD823.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 064836 号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:刘玉靖

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年4月第一次印刷 印张:20 1/4

字数:358 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303



## 前 言

郑州煤炭工业(集团)有限责任公司始建于1958年,迄今已有50多年的历史。郑煤集团所属矿区煤炭储量丰富,可采储量10.02亿吨,目前煤炭生产能力2700万吨/年。郑州矿区由新密、登封、荥巩和偃龙四大煤田构成,分布于新密、登封、巩义、荥阳、新郑、二七区、偃师和伊川七市(县)一区。据统计,矿区“三下”(建筑物下、水体下、铁路下)压煤量巨大,涉及地面各类建(构)筑物,包括村庄、厂房、铁路、公路、桥梁、地面河流、水库等水体、高压线铁塔等,建筑物下压煤开采已成为矿区面临的主要问题,严重影响了郑州矿区煤矿的正常生产和可持续发展。

岩层与地表移动规律及参数是煤矿安全生产、保护煤柱留设等重要的基础性资料,也是进行“三下”采煤研究、煤矿采动损害评价及建筑物保护的重要依据。然而,地下开采引起的岩层及地表移动是一个复杂的时空过程,由于岩体介质的复杂性,开采方法的多样性,复杂岩体及地表移动预测尚难以采用理论方法解决,而需要根据实测数据确定岩层与地表移动规律及其参数。郑州矿区经过多年的努力,已建立了赵家寨、米村、大平、超化、金龙、裴沟、老君堂等多个地表移动观测站,积累了较为完善的观测资料,并成功实施了村庄建筑物下、水库坝体下、铁路及立交桥、高压输电线路铁塔下等采煤技术,积累了大量的“三下”压煤开采实践经验,为研究郑州矿区“三下”压煤开采及建(构)筑物保护技术提供了宝贵的资料。

“三软”煤层指煤矿开采中遇到的软顶板岩层、软煤层和软底板岩层,“三软”煤层储量在国内外煤矿开采中都占据了相当大的比例。郑州矿区是我国典型的“三软”煤层区域,所采煤层直接顶顶板岩层裂隙发育、破碎,不稳定,强度低,基本上是一旦失去支撑很快就冒顶;煤层煤质较软,节理发育、不稳定且极易片帮。“三软”煤层开采岩层与地表移动规律有其自身的特点,目前我国尚缺乏“三软”煤层开采岩层与地表移动规律的系统研究成果。本书针对矿区“三软”煤层的地质采矿条件,研究“三软”煤层开采岩层与地表移动规律及其参数,并对村庄建筑物下条带开采技术、水库坝体下采煤及保护技术、路桥下采煤及保护技术、高压线铁塔下采煤及保护技术等特殊条件下采煤技术进行研究和总结,其成果为“三软”煤层矿区建筑物保护煤柱留设、地表移动变形计算、采动影响评价以及“三下”采煤提供科学依据,对提高煤炭资源采出率,保护地表建(构)筑物等具有重要的理论和实际意义。

本书由河南理工大学郭文兵和郑州煤炭工业(集团)有限责任公司杨治国、詹鸣共同撰写,其中第1、4、5、8章由郭文兵撰写;第2、6、9章由杨治国撰写;第3、7章由詹鸣撰写。本书内容是郑州煤炭工业(集团)有限责任公司与河南理工大学合作完成的科研项目“‘三软’煤层开采岩层与地表沉陷规律研究及应用”的主要研究成果。在项目研究过程中,得到了郑煤集团技术中心李中州主任的大力支持,郑煤集团各主要矿井领导、工程技术人员现场观测、资料收集等方面做了大量工作;河南理工大学马晓川、雍强、陈冰等研究生参与了项目的具体研究及资料收集、整理工作,在此一并表示衷心感谢。同时,书中引用了部分文献资料,在此向相关作者表示感谢。

由于时间仓促及作者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2012年11月

# 目 录

## 前言

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 概论                | 1  |
| 1.1 研究的目的是和意义           | 1  |
| 1.2 国内外研究现状及存在问题        | 2  |
| 1.2.1 “三软”煤层开采研究现状      | 2  |
| 1.2.2 岩层与地表移动国内外研究现状    | 3  |
| 1.2.3 沉陷区建筑物保护技术研究现状    | 5  |
| 1.3 研究内容                | 10 |
| 1.4 研究方法和技术路线           | 11 |
| 1.4.1 研究方法              | 11 |
| 1.4.2 技术路线              | 11 |
| 第 2 章 郑州矿区概况            | 13 |
| 2.1 概述                  | 13 |
| 2.1.1 郑煤集团简介            | 13 |
| 2.1.2 郑州矿区简介            | 13 |
| 2.2 交通地理位置              | 14 |
| 2.3 矿区主要矿井生产概况          | 14 |
| 2.4 矿区地形情况              | 16 |
| 2.5 水文、气象条件             | 17 |
| 2.6 地质采矿条件              | 17 |
| 2.6.1 地层                | 17 |
| 2.6.2 构造                | 20 |
| 2.6.3 煤系、煤层             | 23 |
| 第 3 章 “三软”煤层岩层移动规律及参数研究 | 24 |
| 3.1 矿区主要观测站简介           | 24 |
| 3.2 地表移动角量参数的确定方法       | 24 |
| 3.2.1 基本概念              | 24 |
| 3.2.2 各类角量参数的确定方法       | 25 |
| 3.3 赵家寨煤矿地表移动角量参数       | 26 |
| 3.3.1 11206 首采面观测站简介    | 26 |
| 3.3.2 地表移动盆地特征分析        | 28 |
| 3.3.3 地表移动角值参数求取        | 37 |
| 3.4 大平矿地表移动角量参数         | 47 |

|              |                                   |            |
|--------------|-----------------------------------|------------|
| 3.4.1        | 13091 工作面观测站简介 .....              | 47         |
| 3.4.2        | 地表移动盆地特征分析 .....                  | 48         |
| 3.4.3        | 地表移动角值参数求取 .....                  | 51         |
| 3.5          | 米村矿地表移动角量参数 .....                 | 52         |
| 3.5.1        | 260061 观测站地表移动特征及角量参数 .....       | 52         |
| 3.5.2        | 1302 观测站地表移动特征及角量参数 .....         | 57         |
| 3.6          | 超化矿地表移动角量参数 .....                 | 63         |
| 3.6.1        | 11051 工作面观测站简介 .....              | 63         |
| 3.6.2        | 观测结果 .....                        | 63         |
| 3.6.3        | 地表移动主要参数 .....                    | 67         |
| 3.7          | 主要煤矿岩层与地表移动角量参数汇总 .....           | 67         |
| 3.8          | 郑州矿区岩层与地表移动角量参数的确定 .....          | 68         |
| <b>第 4 章</b> | <b>“三软”煤层概率积分法预计参数研究 .....</b>    | <b>71</b>  |
| 4.1          | 基于 MATLAB 概率积分法预计参数求取方法 .....     | 71         |
| 4.1.1        | 现有求参数方法分析 .....                   | 71         |
| 4.1.2        | 曲线拟合法基本原理 .....                   | 72         |
| 4.1.3        | 主断面上地表移动变形预计公式 .....              | 73         |
| 4.1.4        | MATLAB 在开采沉陷中的应用 .....            | 75         |
| 4.2          | 赵家寨煤矿预计参数研究 .....                 | 76         |
| 4.2.1        | 利用特征点及经验公式求取预计参数 .....            | 76         |
| 4.2.2        | 基于 MATLAB 的曲线拟合法求取参数 .....        | 78         |
| 4.2.3        | 地表沉陷的概率积分法预计分析 .....              | 83         |
| 4.3          | 米村煤矿预计参数研究 .....                  | 87         |
| 4.3.1        | 260061 观测站曲线拟合 .....              | 87         |
| 4.3.2        | 1302 观测站曲线拟合 .....                | 88         |
| 4.4          | 超化煤矿预计参数研究 .....                  | 89         |
| 4.5          | 大平煤矿预计参数研究 .....                  | 90         |
| 4.6          | 金龙煤矿预计参数研究 .....                  | 93         |
| 4.7          | 裴沟煤矿预计参数研究 .....                  | 93         |
| 4.8          | 主要煤矿概率积分法预计参数汇总 .....             | 94         |
| 4.9          | 概率积分法预计参数的特性分析 .....              | 94         |
| 4.9.1        | 下沉系数特性分析 .....                    | 96         |
| 4.9.2        | 主要影响角正切特性分析 .....                 | 96         |
| 4.9.3        | 拐点偏移距特性分析 .....                   | 98         |
| 4.9.4        | 开采影响传播角特性分析 .....                 | 99         |
| 4.10         | 小结 .....                          | 100        |
| <b>第 5 章</b> | <b>村庄建筑物下“三软”煤层条带开采技术研究 .....</b> | <b>101</b> |
| 5.1          | 条带开采的非线性理论模型研究 .....              | 101        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 5.1.1 突变理论的数学模型 .....               | 102        |
| 5.1.2 走向条带煤柱破坏失稳的尖点突变模型 .....       | 102        |
| 5.1.3 倾向条带煤柱破坏失稳的尖点突变模型 .....       | 105        |
| 5.2 条带开采的地表移动参数研究 .....             | 107        |
| 5.2.1 条带开采地表移动参数分析 .....            | 107        |
| 5.2.2 结果分析 .....                    | 109        |
| 5.3 大采宽条带开采的预计方法研究 .....            | 110        |
| 5.3.1 条带开采预计方法及其参数 .....            | 110        |
| 5.3.2 地表移动和变形预计分析 .....             | 110        |
| 5.4 建筑物下条带开采应用实例 .....              | 113        |
| 5.4.1 大平矿走向条带开采 .....               | 113        |
| 5.4.2 张沟矿建筑物下条带开采应用 .....           | 117        |
| 5.4.3 裴沟矿条带开采实例 .....               | 120        |
| 5.5 建筑物采动影响评价 .....                 | 122        |
| 5.5.1 开采影响下建筑物损坏程度的人工神经网络预测模型 ..... | 122        |
| 5.5.2 采动影响下建筑物损害程度的模糊聚类分析 .....     | 126        |
| 5.5.3 建筑物保护技术 .....                 | 128        |
| 5.6 小结 .....                        | 130        |
| <b>第6章 “三软”煤层水体下采煤及保护技术研究 .....</b> | <b>131</b> |
| 6.1 国内外研究现状及分析 .....                | 131        |
| 6.1.1 国外研究现状 .....                  | 131        |
| 6.1.2 国内研究现状 .....                  | 132        |
| 6.2 米村矿水库坝体下协调开采技术研究 .....          | 135        |
| 6.2.1 水库坝体下协调开采技术 .....             | 135        |
| 6.2.2 地质采矿条件及工作面布置 .....            | 136        |
| 6.2.3 水库坝体下放顶煤开采的安全性研究 .....        | 139        |
| 6.2.4 采后地表移动和变形计算 .....             | 144        |
| 6.2.5 采动影响下堤坝稳定性数值模拟研究 .....        | 153        |
| 6.2.6 放顶煤协调开采坝体采动影响程度分析 .....       | 161        |
| 6.2.7 土石坝坝体灌浆加固技术研究及应用 .....        | 168        |
| 6.3 芦沟煤矿水库下采煤技术研究 .....             | 174        |
| 6.3.1 研究区概况 .....                   | 174        |
| 6.3.2 五星水库水体下采煤的安全性分析 .....         | 175        |
| 6.3.3 地表沉降预计和采动影响分析 .....           | 186        |
| 6.3.4 水库下采煤的观测及安全技术措施 .....         | 190        |
| 6.4 裴沟煤矿水库下采煤技术研究 .....             | 192        |
| 6.4.1 研究区概况 .....                   | 192        |
| 6.4.2 魔洞王水库、坝体现状及其压煤情况 .....        | 192        |



|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 6.4.3 | 魔洞王水库下采煤安全性分析          | 193 |
| 6.5   | 东坪煤矿水库下采煤技术研究          | 195 |
| 6.5.1 | 研究区概况                  | 195 |
| 6.5.2 | 券门水库及压煤情况              | 195 |
| 6.5.3 | 试采工作面设计                | 196 |
| 6.5.4 | 券门水库下试采安全性分析           | 197 |
| 6.5.5 | 试采工作面地表移动变形预计结果        | 198 |
| 6.6   | 小结                     | 199 |
| 第7章   | “三软”煤层路桥下采煤技术及保护措施研究   | 200 |
| 7.1   | 概述                     | 200 |
| 7.2   | 太平矿公跨铁路立交桥下采煤技术研究      | 202 |
| 7.2.1 | 桥梁概况                   | 202 |
| 7.2.2 | 工作面基本情况                | 203 |
| 7.2.3 | 公跨铁路立交桥附近地表移动变形预计      | 204 |
| 7.2.4 | 覆岩离层注浆减沉方案设计           | 212 |
| 7.2.5 | 桥梁加固维护技术               | 229 |
| 7.3   | 超化矿铁路下放顶煤开采技术研究        | 230 |
| 7.3.1 | 研究区概况                  | 230 |
| 7.3.2 | 预计结果                   | 231 |
| 7.3.3 | 铁路及桥涵加固维修方案及实施         | 231 |
| 7.4   | 小结                     | 233 |
| 第8章   | 高压线铁塔下采煤技术及应用研究        | 234 |
| 8.1   | 国内外研究现状及分析             | 234 |
| 8.2   | 地表移动变形对高压线铁塔影响分析       | 237 |
| 8.2.1 | 地表下沉的影响                | 237 |
| 8.2.2 | 地表倾斜的影响                | 239 |
| 8.2.3 | 地表曲率的影响                | 241 |
| 8.2.4 | 地表水平移动的影响              | 241 |
| 8.2.5 | 地表水平变形的影响              | 241 |
| 8.2.6 | 高压输电线路的运行标准            | 243 |
| 8.3   | 采动区高压线铁塔与地基、基础协同作用力学模型 | 243 |
| 8.3.1 | 协同作用力学模型的建立            | 244 |
| 8.3.2 | 协同作用微分方程求解             | 246 |
| 8.3.3 | 高压线铁塔桁架结构变形及附加应力       | 249 |
| 8.3.4 | 计算实例                   | 250 |
| 8.4   | 金龙煤业公司高压线铁塔下采煤技术研究及应用  | 251 |
| 8.4.1 | 研究区概况                  | 251 |
| 8.4.2 | 铁塔概况和压煤量               | 252 |

|        |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 8.4.3  | 采后地表移动和变形计算 .....         | 253 |
| 8.4.4  | 高压线铁塔变形及安全性分析 .....       | 255 |
| 8.4.5  | 采动影响下高压线铁塔基础倾覆稳定性计算 ..... | 256 |
| 8.4.6  | 高压线铁塔下采煤保护技术措施 .....      | 262 |
| 8.4.7  | 现场观测结果分析 .....            | 266 |
| 8.5    | 张沟矿高压线铁塔下采煤技术研究 .....     | 268 |
| 8.5.1  | 采区概况 .....                | 268 |
| 8.5.2  | 高压线铁塔及其压煤情况 .....         | 268 |
| 8.5.3  | 采区工作面开采方案布置优化 .....       | 272 |
| 8.5.4  | 条带开采方案设计研究 .....          | 272 |
| 8.5.5  | 条带开采后地表移动变形预计 .....       | 274 |
| 8.5.6  | 高压线铁塔观测站的设置 .....         | 280 |
| 8.6    | 地表变形对高压线铁塔影响数值模拟研究 .....  | 281 |
| 8.6.1  | 倾斜变形对高压线铁塔影响数值模拟研究 .....  | 281 |
| 8.6.2  | 水平变形对高压线铁塔影响数值模拟研究 .....  | 289 |
| 8.7    | 高压线铁塔的防护和维修措施 .....       | 296 |
| 8.7.1  | 地表沉陷控制措施 .....            | 296 |
| 8.7.2  | 高压线铁塔的维修和防护措施 .....       | 297 |
| 8.8    | 小结 .....                  | 300 |
| 第9章    | 郑州矿区“三下”压煤开采技术标准 .....    | 301 |
| 9.1    | 术语和定义 .....               | 301 |
| 9.2    | 郑州矿区地表移动角量参数 .....        | 302 |
| 9.2.1  | 地表移动角量参数 .....            | 302 |
| 9.2.2  | 概率积分法预计参数 .....           | 304 |
| 9.3    | 建筑物下压煤开采技术标准 .....        | 306 |
| 9.4    | 水体下压煤开采技术标准 .....         | 306 |
| 9.5    | 线性构筑物下压煤开采技术标准 .....      | 308 |
| 主要参考文献 | .....                     | 310 |

# 第 1 章 概 论

## 1.1 研究的目的是和意义

煤炭在我国一次能源消耗中占 70% 左右,到 21 世纪 50 年代仍将在 50% 以上。因此,对地下各种条件下煤炭资源的开采将是一项长期的任务。我国是一个产煤和煤炭消费大国,近年来我国煤炭产量逐年递增,年产量已超过 35 亿 t。随着大量的煤炭资源从地下采出,所造成的地表沉陷不仅引起矿区生态环境、地面村庄建筑物、铁路、公路、水体、桥涵、管道、耕地、高压输电线等的破坏,而且给煤炭企业带来巨大的经济赔偿负担,同时影响矿区乃至社会的稳定和可持续发展。煤炭开采造成的地表沉陷已涉及矿区的工农业生产及人民生活的各个方面,是亟待解决的社会和环境问题。目前全国平均每采万吨煤塌陷土地  $0.2\text{hm}^2$ ,每年直接经济损失约 20 亿元。据不完全统计,我国生产矿井“三下”压煤量达 140 亿 t,其中建筑物下压煤 87.6 亿 t,村庄下压煤占建筑物下压煤的 60% 以上。我国村庄下压煤量超过亿 t 的省份就有 9 个,河南省为 6.5 亿 t。建筑物下压煤开采已成为矿区面临的主要问题。特别是在一些老矿区,随着煤炭资源的不断开采,可采煤炭资源逐步枯竭,“三下”压煤问题更为突出。该问题如得不到有效解决,矿井服务年限将大大缩短。

岩层与地表移动规律及参数是煤矿安全生产、保护煤柱留设等重要的基础性资料,也是进行“三下”研究、煤矿采动损害与评价的重要依据。郑州矿区是我国典型的“三软”煤层区域,同时井田范围内有村庄等建筑物以及其他设施。目前我国尚没有进行过“三软”煤层岩移规律等类似科研项目的系统研究,缺乏必要的资料数据和成果。这里通过系统分析“三软”煤层观测站资料,研究“三软”煤层开采地表移动和变形规律及参数,从而进一步研究各类建(构)筑物的保护技术。该研究对“三软”煤层的“三下”采煤设计、最大限度解放“三下”压煤、提高煤炭资源采出率,减轻采动损害、保护地表建(构)筑物等具有重要的理论和实际意义,经济和社会效益明显,该研究成果可丰富煤矿开采沉陷理论,为全国乃至世界的开采沉陷理论的发展做出贡献。

经检索可知,关于“三软”煤层开采的采煤方法、围岩控制、巷道支护、瓦斯治理等方面有较多的研究成果,而“三软”煤层开采的岩层与地表移动规律有待进一步系统研究。“三软”煤层开采引起的地表沉陷在国内外开采沉陷领域的研究还不系统和完善,有必要结合郑州矿区“三软”煤层特定的地质采矿条件,以实测资料为基础,开展理论分析和模拟研究,探索“三软”煤层矿区的地表沉陷规律,研究地表采动损害控制以及防护措施,为矿区“三下”压煤开采提供较准确的地表移动规律及参数。

## 1.2 国内外研究现状及存在问题

### 1.2.1 “三软”煤层开采研究现状

目前,软顶板岩层一般指Ⅰ、Ⅱ类不稳定顶板岩层,直接顶顶板岩层裂隙发育、破碎,抗压强度指数很低或为软顶煤,基本上是一旦失去支撑很快就冒顶,若不能支护刚裸露的顶板或顶煤,梁端就会冒顶;煤质软,节理发育、煤层不稳定使煤壁极易片帮,而且煤壁片帮和梁端冒顶相互诱发。无论国内或是国外“三软”煤层煤炭储量都占其煤炭储量的相当比例,加之“三软”煤层开采难度大,采场顶底板岩层不易管理,回采事故率高,因此人们从很早就开始关注软岩煤层的合理开采问题。经过近几十年的发展,国内外煤矿开采企业针对各自所采煤层的具体情况都进行了研究,形成了各自行之有效的开采技术方法。

法国的布朗齐矿主采煤层为松软煤层,煤厚2~10m,最厚的超过20m,煤层埋藏极不稳定,煤厚变化大;煤层倾角变化大,倾角最大到45°。煤层顶板破碎,夹矸有多层,最厚可达1m。这样复杂的条件曾令开采相当困难,但布朗齐矿经过多年的努力完成了自下行分层开采到放顶煤开采的采煤方法演变,并成功解决了放顶煤所带来的众多技术难题。一般情况下,在软岩煤层的长壁放顶煤采面中进行机械化落煤都会遇到多种难题,当煤壁松软易片帮时,很难找到一种完美的方法给采煤机的运行创造一个畅通的通道,即不能在时间和空间保持一个完整的煤壁。布朗齐矿针对采场具体情况,摒弃滚筒式割煤机,采用四支柱放顶煤液压支架支护和平行双刨煤机落煤、放煤的全新方式获得了较好的效果。我国徐州矿务局权台矿煤层属典型的“三软”煤层,在无法实现大采高一次采全厚的情况下,采用综合机械化放顶煤技术并取得了成功。该矿面对开采中多种技术难题,独辟蹊径采取综放两道全煤巷方式跟顶布置,工作面在推进过程中,以6:1的比例下刹,支架由跟顶逐渐过渡到跟底回采方式,在工作面下刹过程中当顶煤厚度达到1m以上时,方允许进行放顶煤工作。实践证明,该矿的做法实现了高产高效的目的。

河南省郑州矿区包括新密煤田、新郑煤田、登封煤田和荥巩煤田,郑煤集团现有生产矿井大多分布在新密煤田。主采煤层为二叠系山西组二<sub>1</sub>煤层,煤层倾角6°~35°,煤层厚度0.19~24m,平均厚度7.5m,煤质松软易碎,且节理发育、易片帮,呈黑色粉末状,普氏系数为0.1~0.5,煤层变异系数达60.6%,开采条件差,开采情况复杂。煤层直接顶多以泥岩为主,岩石单向抗压强度小于50MPa,其下层位常有伪顶,或呈复合型顶板,抗压强度低于30MPa,遇水易膨胀变软的泥岩软底板也较普遍。底板为砂质泥岩,平均厚8m,容许比压3.7~10.3MPa。根据对缓倾斜煤层顶底板分类的研究,郑州矿区开采的二<sub>1</sub>煤层是典型的“三软”不稳定煤层,可以说也是国内“三软”煤层开采的代表。20世纪80年代开始,人们使用支架进行分层开采,工作面片帮冒顶严重,上下两端头支架移架困难。长期以来,产量低、效益差,工作面产量在25万~30万t/a。从1988年开始使用综放支架,经过多年现场试验和技术探讨,对综采放顶煤工艺和工作面液压支架不断进行技术改造,使综采放顶煤技术在郑州矿区“三软”煤层条件下获得成功,并取得较好的经济效益和社会效益。目前,根据煤层厚度和顶底板变化程度,主要采用分层开采(综采、炮采)、

炮采放顶煤整层开采和综采放顶煤整层开采等采煤方法。郑州煤业(集团)公司超化矿综采队早在2004年通过开展技术创新,调整生产工艺,生产原煤190万t,不仅实现了安全生产无事故,而且连续第五次刷新“三软”煤层全国综采单产最高记录。郑州矿区部分“三软”煤层采用不同采煤方法所获得的经济技术指标情况如表1.1所示。

表 1.1 郑州矿区“三软”煤层部分采煤技术指标

| 矿井名称 | 工作面名称 | 采煤工艺 | 煤层厚度/m  | 煤层倾角/(°) | 分层采高/m | 工作面长度/m | 月产量/(万t/月) | 回采工效/(t/工) | 备注     |
|------|-------|------|---------|----------|--------|---------|------------|------------|--------|
| 大平煤矿 | 1109  | 炮采   | 2.5~7.2 | 19       | 2.0    | 128     | 1.8        | 4.12       | 顶分层    |
| 米村煤矿 | 13072 | 炮采   | 3.0~5.0 | 6~10     | 2.0    | 125     | 2.1        | 4.29       | 再生顶板   |
| 芦沟煤矿 | 1402  | 炮采   | 4.0~6.0 | 21~24    | 2.0    | 82      | 1.4        | 3.45       | 碳质泥岩顶板 |
| 超化煤矿 |       | 炮采   | 9~12    | 15~20    | 放顶煤    |         | 2.4        | 20.6       | 单体支柱   |
| 米村煤矿 | 15011 | 综采   | 3.0~5.0 | 8~10     | 放顶煤    | 78      | 6.0        | 22.3       |        |

## 1.2.2 岩层与地表移动国内外研究现状

地下开采引起的岩层及地表移动是一个复杂的时空过程,由于岩体介质的复杂性,开采方法的多样性,复杂岩体及地表移动预测尚难以采用理论方法解决,即使建立各类理论,也需要实测数据确定岩移参数。为此,世界各国均在不同矿区建立了大量的地表移动观测站,取得了大量的实测数据,根据矿区实测结果建立不同的预测方法和预测参数体系指导本矿区的开采实践。例如,英国《下沉工程师手册》中的诺谟图、不同采动程度下下沉系数修正体系。早在20世纪五六十年代波兰和苏联就开展了岩层与地表移动工作,建立了适合本国特点的岩移与地表移动观测站,苏联在顿巴斯矿区建立了层状岩体岩层变形计算方法、岩体内部移动下沉系数计算式等;波兰根据实测资料总结得出地表移动预测方法——克诺特影响函数、含水层失水条件下地表移动预测方法,对深部薄煤层开采地表移动变形的参数,尤其是角量参数和地表下沉系数进行了分析总结。同时,德国、澳大利亚等国也进行了大量的地表与岩层移动规律的研究工作,并取得了一定的经验,特别是对地表移动的一些角量参数以及下沉系数随开采深度变化的规律进行了分析,指导“三下”采煤和矿山环境保护。

德国 Jlcinsky 在大量观测的基础上,得到了岩层移动线是通过煤层法线和铅垂线所形成的二等分线,并得到了移动角的计算公式。Hausse 建立了自己的理论,给出了移动角值和相应的计算公式。达尔特姆特煤矿在对地面进行系统观测的基础上获得了下列的移动角参数:当煤层倾角为 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 时,移动角 $\beta$ 等于 $75^{\circ}$ ;当煤层倾角为 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 时, $\beta$ 角等于 $95^{\circ}-\alpha$ ( $\alpha$ 为煤层倾角);当煤层倾角大于 $35^{\circ}$ 时,移动角 $\beta$ 等于 $55^{\circ}$ 。国外在移动角方面认识和研究理论的提出,为其采矿业发展提供了理论支持,并为我国的开采沉陷研究提供了基础,但由于地质采矿条件的不同,我国无法照搬这些国外的理论。

我国从20世纪50年代开始对地表移动进行系统研究,到目前为止,已建有数百个地表移动观测站,收集、整理了大量资料。这些观测站几乎包括了各种类型的地质采矿条件。各个大的矿区均有自己的岩层移动资料。我国学者耿德庸、仲惟林等提出了岩层移

动角的计算方法,根据实测资料对大采深条件下地表移动变形特征进行研究;蒋耀中、暴福魁等人基于实际观测成果,在分析影响移动角因素的基础上,提出了根据影响系数计算移动角,并给出了相应的计算公式;滕永海、王金庄等在实测、实验和理论分析的基础上,系统地研究了综采放顶煤条件下地表沉陷规律及其机理,并认为综采放顶煤条件下导水断裂带异常发育,其高度与煤层开采厚度近似成正比;谭志祥等在实测资料基础上,通过理论研究和数理分析,对综采放顶煤工作面地表变形预计参数进行了综合分析;高明中、余忠林等对急倾斜煤层开采地表沉陷进行了数值模拟研究,总结出了岩体移动的基本特征和地表沉陷的相关参数;许延春等人根据巨厚松散层地质特点,提出了分段按采深划分巨厚松散层确定移动角的观点;邹友峰教授依据开采沉陷的相似理论,认为在计算移动角时,有关系式成立为

$$\delta = f\left(\frac{E}{E_m}, \frac{\rho H^2}{100ME_m}, \frac{3H}{1000M}\right) \quad (1.1)$$

式中:  $E$  为岩体的变形模量(MPa);  $E_m$  为岩体的综合变形模量(MPa);  $\rho$  为岩体的平均质量密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $H$  为开采深度(m);  $M$  为开采厚度(m)。

另外,郭文兵、邓喀中等人运用我国典型的地表移动观测站资料,采用神经网络方法建立岩层移动角的模型,为岩层移动角的理论计算探索了一种新方法。我国学者在岩层移动角确定方面做了大量的工作。但是总体看来,我国各个矿区实测的移动角资料相对较少,尤其“三软”煤层在国内研究较少。目前,“三软”煤层开采条件下国内外对地表移动规律及参数的研究还不完善。

我国峰峰矿区从 20 世纪 50 年代末、60 年代初设立地表移动观测站,共计建立了四十余个各种不同类型的观测站,对观测资料进行了全面分析,建立了各种角值参数与地质采矿条件之关系,形成了参数预测体系。1991 年原东煤矿区获得了不同地质采矿条件下地表移动预测参数和预测方法,建立了各种参数与地质采矿条件之关系。开滦矿区先后建立了二十多个岩移观测站,研究了重复采动条件、大采深条件以及急倾斜煤层条件下的岩层与地表移动规律。潞安矿区、枣庄矿区、平顶山矿区、淮北矿区、徐州矿区、淮南矿区、阳泉矿区和兖州矿区等相继在实测资料分析的基础上,建立了相应的预测方法和预测参数体系,形成了指导矿区生产的矿区“三下”采煤相关规程,为我国“三下”采煤以及矿区的环境治理提供了依据,在指导矿区“三下”采煤中发挥了巨大的作用,产生了巨大的经济效益、社会效益和环境效益。

郑州矿区“三软”煤层开采条件下的岩层与地表移动规律研究不充分,难以全面指导矿区建(构)筑物下压煤开采。由于地质采矿条件的复杂性,地表移动变形规律受地质采矿的影响,随地质采矿条件的变化而变化,不可能在各种地质采矿条件下都建立地表移动观测站。经大量文献检索,目前郑州矿区“三软”煤层开采在岩层与地表移动规律存在大量的理论和实践问题需要进一步研究和完善,如随着矿井开采深度的增加,岩层与地表移动问题十分复杂,也带来了新的地表沉陷预测与控制问题,如果仍照搬浅部煤层开采的移动参数和方法设计保护煤柱,势必会增大保护煤柱的体积,使矿区“三下”压煤量迅速扩大,甚至使“三下”开采无法进行,煤炭资源得不到合理的开采利用,进而影响矿井的开采效益。现有的研究成果与郑州矿区“三软”煤层开采的地表沉陷特征有较大差异。通过研



究,采用数理统计方法寻求参数与地质采矿条件之间的关系,建立地表移动预测方法和预测参数体系,在郑州“三软”煤层矿区建立一套科学、合理、规范的岩移参数。研究矿区的开采沉陷规律对保护地表建(构)筑物和矿区生态环境、实现矿区煤炭资源的可持续发展战略等均具有重要的理论价值和实践意义。

### 1.2.3 沉陷区建筑物保护技术研究现状

沉陷区建筑物保护技术措施主要为两方面:一方面在井下采取采煤技术措施,尽量减少建筑物所在地表的移动和变形值;另一方面对建筑物采取结构保护措施,以提高建筑物承受地表变形的能力。

#### 1.2.3.1 地下开采技术措施

采取地下开采技术措施的目的是通过研究合适的采矿方法或相关技术,尽可能多地采出地下煤炭资源,并最大限度地减少岩层与地表移动。地表移动变形值的大小与地表下沉值有关,地表下沉值与采深、采厚、煤层倾角、覆岩性质以及采煤方法、顶板管理方法有关。如果采用合适的采煤方法和顶板管理方法可有效地减少地表下沉。目前,国内外地下开采技术措施主要有部分开采方法(条带开采、房柱式开采、限厚开采等)、充填开采方法、覆岩离层注浆及协调开采方法等。

##### 1) 条带开采

条带开采是将要开采的煤层区域划分为比较正规的条带形状,采一条、留一条,使留下的条带煤柱能够支撑上覆岩层的荷载,使地表只发生轻微的、均匀的移动和变形,达到既回收一部分煤炭资源又能控制地表沉陷的目的。实践表明:条带开采的采出率一般为40%~60%,下沉系数不超过0.3。由于它能有效地控制上覆岩层和地表沉陷,保护地面建(构)筑物和生态环境,有利于安全生产,不需要增加或较少增加生产成本,生产管理简单,在我国煤矿区被广泛采用,其优点是在不改变采煤工艺的前提下,大幅度地减少地表沉陷。条带开采按顶板管理方式分为冒落条带开采和充填条带开采;按条带煤柱长轴方向分为走向条带、倾向条带和伪斜条带;按布置方式分为正规条带和非正规条带等。我国自1967年开始应用充填条带法开采“三下”压煤以来,先后在全国10多个省的数百个条带工作面进行了条带开采,如抚顺、阜新、蛟河、峰峰、淄博、鹤壁、平顶山、焦作、郑州、枣庄、徐州等多个矿区都曾进行了建筑物下压煤的条带开采实践,取得了丰富研究成果和实际观测资料。

国外如波兰、苏联、英国等主要采煤国家在20世纪50年代就开始应用条带法开采建筑物下,尤其是村镇、城市下的煤炭资源,取得了较为丰富的实践经验,如波兰采用充填条带开采法,成功开采了卡托维兹(人口35万)、贝托姆(人口25万)等城市下的煤炭资源,采出率为45.8%~60%,地表下沉系数仅为0.009~0.036。

与一般长壁式采煤法相比,条带开采有采出率低、掘进率高、采煤工作面搬家次数多等缺点,但它的突出优点是开后引起的围岩移动量小、地表沉陷小。在具体的地质采矿条件下,在保证采动引起地表移动与变形不影响地面建筑物安全使用的前提下,应最大限度地提高煤炭资源回收率。地表移动和变形值的大小与煤炭回收率直接相关。开采条带

宽度太大、留设煤柱太小,则煤柱不能支撑覆岩荷载,煤柱被压垮,增大地表的移动和变形值,地面建筑物得不到有效保护;而开采条带宽度太小,留设煤柱太大,则回采率低,经济上不合理。有时如留设煤柱宽度不当,可能造成地表波浪形下沉,这对保护地面建筑物也极为不利。

我国条带开采多采用冒落法管理顶板,采深一般小于400m,开采厚度在6m以下,采出率一般在40%~78.6%。除少数由于重复采动、煤体强度低、采出率偏大等特殊原因影响,使下沉系数偏大之外,我国条带开采地表下沉系数一般小于0.2。另外,我国已对包括急倾斜煤层在内的各种倾角的煤层、大采深煤层进行了条带开采试验研究。条带开采的应用现状如下:条带开采下沉系数为全部垮落开采下沉系数的4.8%~26.8%,下沉系数变化在0.024~0.206,地面建筑物损害一般在Ⅰ级以下;条带开采深度变化在71~705m,全部垮落法条带开采采深在71~675m;条带开采宽度变化在10~160m,宽深比为0.043~0.347,回采率为40%~78.6%;开采厚度最大为16.6m(充填条采)、5.7m(冒落条采),宽高比为5.3~16;煤层倾角变化在5°~75°。

## 2) 房柱式开采

房柱式开采是在开采煤层内掘进一系列宽为5~7m的煤房,煤房间用联络巷相连,形成近似于长条形的煤柱,煤柱宽度由数米至十多米不等。煤柱可根据条件留下不采或在煤房采完后,将煤柱按一定要求部分采出,剩余的煤柱用于支撑顶板。房柱式开采分为巷房掘进和回收煤柱两个阶段,当区段内的巷道(煤房)全部掘完后,采煤机开始后退回回收煤柱。煤柱回收方式很多,具体应根据煤柱尺寸大小和围岩条件确定。对于“三下”采煤,可利用房柱式采煤法,只采煤房不回收煤柱,以煤柱支撑上覆岩层,有效地控制覆岩移动,减少地表移动和变形,达到限制岩层和地表沉陷的目的,特别适合于不能搬迁又不便加固维修的密集建筑物下的采煤。

房柱式采煤方法广泛应用于美国、加拿大、澳大利亚、印度和南非等国。美国是世界上采用连续采煤机房柱式开采最早和产量最高的国家,通常采用房柱式开采法来保护地面建筑物。开采实践证明,采出率为50%以内时,煤柱能够支撑地表长期稳定不沉陷。英国、美国、南非等国对房柱式开采时矿柱的稳定性、尺寸留设方法进行了研究,获得了大量的数据和研究成果,其中重点研究了矿柱的高宽比对矿柱稳定性的影响。我国神府东胜矿区大柳塔煤矿采用连续采煤机房柱式采煤法开采不适于布置长壁工作面的边角煤,取得了较好的经济效益。陕西黄陵矿是我国第一个完全采用连续采煤机房柱式采煤法设计的大型矿井,设计采出率达75%以上。此外,兖矿集团公司南屯煤矿等也采用了房柱式开采。由于缺乏配套技术与设备以及受地质采矿条件的限制,我国总体上还较少采用房柱式开采方法。

房柱式开采的主要特点是设备投资少、运转灵活、搬迁快、巷道压力小、便于维护、全员效率高、建设周期短、地表损害相对小等。它的主要缺点有:煤炭回收率低,煤柱损失达40%以上;通风条件差,存在多头串联通风和采空区串风现象,不符合我国《煤矿安全规程》的要求;有一定的适用条件,如采深小于500m;适合于近水平薄及中厚煤层。具体讲,连续采煤机房柱式开采的适用条件为:开采深度较浅,一般覆盖层厚度不宜超过500m;煤层厚度(采高)0.8~4.0m;近水平煤层,倾角在5°以下最合适;煤层顶板在中等稳定以上;



煤层底板坚硬,且干燥无积水;煤质为中硬或硬煤层,没有坚硬的夹矸或较多的黄铁矿球(硫磺蛋);矿井为低瓦斯矿井,煤层不易自燃;单一煤层或非近距离煤层。

### 3) 限厚开采

分层限厚开采可以减少地表一次下沉对地表建筑物的影响,其方法是控制每一分层的开采厚度,使其在开采后所造成的地表变形不超过允许地表变形值,其实质就是限制地下厚煤层的开采厚度,达到保护地表及其建筑物或其他需要保护对象的目的。它也是国内外进行“三下”开采厚煤层时常用的一种方法。对于缓倾斜及倾斜厚煤层,可以采用倾斜分层分采方案。根据概率积分法地表最大水平变形公式可以计算出分层限厚开采的允许开采厚度  $M_d$  为

$$M_d \leq \frac{\epsilon_{\text{允}} \cdot H}{1.52 \cdot b \cdot q \cdot \tan \beta} \quad (1.2)$$

式中:  $\epsilon_{\text{允}}$  为建筑物允许变形值;  $H$  为开采深度;  $q$  为下沉系数;  $b$  为水平移动系数;  $\tan \beta$  为主要影响角正切。

若用被采动房屋的总变形指标  $\Delta l$  来表示采动损害程度,当开采煤层厚度  $M$  过大,房屋损害程度超过允许级别,可以通过减小采出厚度,使总变形指标不超过设计要求的数值  $\Delta l_d$ 。煤层的限定开采厚度  $M_d$  按下式计算为

$$M_d = \frac{m \cdot \Delta l_d}{\Delta l_m} \quad (1.3)$$

### 4) 充填开采

充填开采方法按充填方式不同可分为水力充填、风力充填、机械充填、矸石充填、膏体及超高水充填开等。充填开采方法也是在煤层开采过程中向工作面后方采空区内充填水砂、矸石或粉煤灰等充填材料以支撑上覆岩层的顶板管理方法。从直观上理解,其是用充填材料置换煤炭。只要充填及时、密实、工艺得当,可以大幅度减小上覆岩层的破坏程度,不出现冒落带,从而显著减小地表下沉值。一般在重要建筑物和构筑物下开采时,采用充填法管理顶板。充填法中的水砂充填是达到减少下沉量效果最好的方法,其次是风力充填和矸石自溜充填。

世界主要产煤国家如波兰、苏联、德国、法国等国的煤矿都曾采用过充填法采煤。采用水砂充填法采煤的国家主要是波兰和法国,采用风力充填法采煤的国家主要是德国、苏联和比利时,英国、法国等国也不同程度的采用了风力充填方法。充填开采在波兰、德国发展及应用得最好、最多。波兰从 1945 年开始,就采用水砂充填条带开采方法在城市下进行开采工作。实际表明,用这种方法开采可保护煤柱,能够使建筑物和结构物不遭受任何损害或损害极小,在多数情况下,不需要采用建筑物结构措施,条带开采水砂充填的地表下沉系数为 0.01~0.05;波兰在城镇及工业建筑物下采煤时采用水砂充填的采煤量占全国建筑物下总采煤量的 80% 左右。国外使用的充填材料通常是河砂、煤矸石和电厂粉煤灰等。长壁工作面使用水砂充填后地表下沉系数为 0.1~0.3。

我国在抚顺、蛟河、鸡西、辽源、焦作、淮南等矿区采用了不同形式的采空区充填方法,如抚顺胜利矿车辆厂用水砂充填法开采,焦作演马庄矿用风力充填开采村庄下压煤,焦作朱村矿、焦作小马矿、峰峰集团小屯矿等采用膏体充填技术进行了煤柱回采,新汶焦团鄂